DOI:10.11931/guihaia.gxzw201908034

GA_3 浸种处理对五种晚花杜鹃种子萌发的影响

陈 婷[1,3]，邓志芬[3]，龙宇庭[3]，蒙俊霞[3]，刘 杰[2,3*]，乙 引[1,2]

（1. 贵州师范大学 贵州省植物生理与发育调控重点实验室，贵阳 550001；2. 国家林业局西南喀斯特山地生物多样性保护重点实验室，贵阳 550001；3. 贵州师范大学 生命科学学院，贵阳 550001）

摘 要：晚花杜鹃（late flower *Rhododendron* ）是一类花期较晚的杜鹃品种，具有较高的观赏价值，被广泛应用于庭院种植和园林绿化。随着旅游以及经济发展的需要，开发和利用晚花杜鹃资源显得非常迫切。自然条件下晚花杜鹃萌发率相对较低，因此为提高晚花杜鹃萌发率，探究不同浓度赤霉素（GA_3）处理对五种杜鹃种子萌发的影响。该研究以五种晚花杜鹃（小白杜鹃、大白杜鹃、桃叶杜鹃、长蕊杜鹃和九龙山杜鹃）为实验材料，通过不同浓度（0，300，400，500，600，700 mg·L^{-1} ）的 GA_3 对五种晚花杜鹃种子进行 24 h 浸种处理，测定其发芽指数、发芽势、发芽率以及成苗率等指标，分别确定五种杜鹃种子萌发的最适 GA_3 浓度，并对相同处理下五种杜鹃种子的萌发率和成苗率进行比较。结果表明：GA_3 浸种对五种晚花杜鹃种子萌发具有促进作用，在适当 GA_3 浓度下五种杜鹃种子的发芽指数、发芽势和发芽率均显著高于对照，萌发时滞、萌发高峰期和持续萌发时间均较对照相对缩短。其中，大白、桃叶和九龙山杜鹃种子在 GA_3 浓度为 600 mg·L^{-1} 处理时各项萌发指标相对较好，长蕊杜鹃以 GA_3 为 700 mg·L^{-1} 浸种处理萌发效果相对较好，小白杜鹃以 GA_3 浓度为 400 mg·L^{-1} 和 700 mg·L^{-1} 处理最好。因此，在杜鹃的栽培中，可以采用赤霉素 GA_3 处理法提高种子发芽率，缩短萌发时间。

关键词：晚花杜鹃，种子繁殖，发芽指数，发芽势，发芽率，成苗率

Effects of GA_3 on seeds germination of five species late flower *Rhododendron*

CHEN Ting[1,3], DENG Zhifen[3], LONG Yuting[3], MENG Junxia[3], LIU Jie[2,3*], YI Yin[1,2]

(1. *Key Laboratory of Plant Physiology and Development Regulation, Guizhou Normal University*, Guiyang 550001, China; 2. *Key Laboratory of State Forestry Administration on Biodiversity Conservation in Karst Mountainous Areas of Southwestern of China*, Guiyang 550001, China; 3 *School of Life Sciences*, *Guizhou Normal University*, Guiyang 550001, China)

Abstract: Due to the flowering time is later than common species, the late flower *Rhododendron* has high ornamental value and research value, and as a horticultural variety it was widely used in garden planting and landscaping. With the increasing

基金项目：国家自然科学基金与贵州省喀斯特科学研究中心联合基金（U1812401）；中央引导地方科技发展专项资金项目（黔科中引地[2017]4006）；贵州省教育厅青年科技人才成长项目（[2018]130）；毕节市科学技术项目（毕科合[2013]29）；贵州省科技合作计划项目（[2019]2854） [Supported by the Joint Fund of the National Natural Science Foundation of China and Karst Science Research Center of Guizhou Province (U1812401); Central Government Guides Local Science and Technology Development Special Fund Program ([2017]4006); Guizhou Provincial Education Department Youth Science and Technology Talent Growth Program ([2018]130); Bijie Science and Technology Program (bikehe[2013]29); Cooperation Projects of Science and Technology of Guizhou Province ([2019]2854)。

作者简介：陈婷（1992-），女，彝族，贵州毕节人，在读硕士研究生，主要研究方向为植物资源与植物栽培繁育。（E-mail）1285591243@qq.com。

*通信作者：刘杰，博士，副教授，研究方向为植物生理生态学，（E-mail）gzklppdr@gznu.edu.cn。

requirement of tourism and rapid economic development, it is extremely urgent to develop and utilize the resources of late flower *rhododendron*. It was reported that the germination rate of late flowering rhododendron is relatively low under natural conditions. Therefore, in order to improve the germination rate of late flower *Rhododendron* and explore the effects of different concentrations of GA_3 on the germination of five species of late flower *Rhododendron*, we took the seeds of five species late flower *Rhododendron* (*Rhododendron maculatum*, *Rhododendron decorum*, *Rhododendron annae*, *Rhododendron stamineum* and *Rhododendron jiulongshanense*) as experimental materials, and soaked the five species seeds of late flower *Rhododendron* in GA_3 with different concentration (0, 300, 400, 500, 600, 700 mg • L^{-1}) for 24 h, furthermore, the germination index, germination potential, germination rates and seedling percentage of them have been determined. Meanwhile, the optimum concentration of GA_3 for germination of five species of *Rhododendron* seeds was determined, and we also compared the germination rates of five species of late flower *Rhododendron* seeds. The results showed that a certain concentration of GA_3 promoted the germination of five species seeds of late flower *Rhododendron*. In addition, the germination index, germination potential, germination rates and seedling percentage of five species seeds of *Rhododendron* at a certain concentration of GA_3 were significantly higher than those of the control, and the germination time lag, germination peak period and sustained germination lasting time were relatively shorter than those of the control. The each germination indicators of the seeds of *Rhododendron stamineum*, *Rhododendron annae* and *Rhododendron jiulongshanense* were relatively higher when treated with 600 mg • L^{-1}, and the germination rate of *Rhododendron stamineum* seeds was relatively good when soaked with 700 mg • L^{-1} GA_3. The germination rate of *Rhododendron maculatum* was higher when treated with 400 mg • L^{-1} and 700 mg • L^{-1} GA_3. To sum up, the GA_3 treatment can be extensively used to improve seed germination rate and shorten the germination time in the cultivation of late flower *Rhododendron*.

Key words: late flower *Rhododendron*, seed propagation, germination index, germination potential, germination rate, seedling rate

杜鹃是被子植物中的一个大属，全世界略有约 1000 余种杜鹃（何芳兰, 2006）。中国西南地区是杜鹃花集中分布的主要地区之一，而贵州百里杜鹃国家森林公园作为我国少数保存较为完整的高海拔杜鹃花林带，具有丰富的杜鹃资源，是重要的杜鹃花种质资源库，具有极高的科研价值和旅游价值(何俊蓉等, 2008)。随着当地旅游以及经济发展的需要，杜鹃花 3 月中旬到 4 月底短期的集中开放不能满足游客长期观赏的需求。晚花杜鹃作为一类花期较晚的杜鹃品种，具有较高的观赏价值，广泛应用于庭院种植和园林绿化中。据有关的资源调查显示，小白杜鹃（*Rhododendron maculatum*）、大白杜鹃（*Rhododendron decorum*）、桃叶杜鹃（*Rhododendron annae*）、长蕊杜鹃（*Rhododendron stamineum*）和九龙山杜鹃（*Rhododendron jiulongshanense*）在百里杜鹃花期较晚，每年 5-6 月开放，属于晚花类杜鹃，但目前在百里杜鹃发现的种群较少(高贵龙等, 2010)，仅在方家坪和普底等个别景区有少量分布，因此，保护、开发和利用晚花杜鹃资源显得非常迫切。

自然条件下晚花杜鹃的萌发率相对较低，为提高晚花杜鹃萌发率，利用赤霉素 GA_3 具有调节植物花期(赵健等, 2009)、促进植物种子萌发及幼苗生长(何丽等, 2018)等功能，本文研究了不同浓度的 GA_3 对小白杜鹃、大白杜鹃、桃叶杜鹃、长蕊杜鹃和九龙山杜鹃种子萌发的影响，探讨了筛选较佳的赤霉素浓度方法及应用，从而为稀有的晚花类的高山杜鹃种子育苗提供技术参考。同时比较筛选出了不同杜鹃种子的萌发能力，对杜鹃的应用栽培提供一

定的科学依据。

1. 材料与方法

1.1 实验材料

供试种子均于 2018 年 12 月采自国家 5A 级景区贵州百里杜鹃野生杜鹃植株上，采集的蒴果置于实验室内自然晾干，待果夹开裂后进行种子收集，并于室温干燥条件下保存作为实验材料。

1.2 方法

1.2.1 种子千粒重测定

杜鹃种子千粒重测定参照陈雪梅等（2014）的方法并进行改进，采用百粒法测定杜鹃种子千粒重，即随机取种子 100 粒，分别称重，每种重复 10 次，以其平均值计算该种子千粒重。

1.2.2 不同浓度赤霉素处理种子

选取饱满无损的杜鹃种子作为供试材料，从挑选种子里随机取样进行处理，每个处理按 100 粒种子取样，重复 3 次。用纱布包好种子后分别于浓度为 0 、300 、400 、500 、600 、700 mg • L^{-1} 的赤霉素 GA_3 溶液中浸泡 24 h 处理。

准备直径为 90 mm 的培养皿，培养皿内铺上两层吸足无菌水的湿滤纸，把经过处理的种子用无菌水清洗 3 遍并吸干水分后，均匀撒播于湿滤纸上，将盛有种子的培养皿置于恒温培养室内，室内温度保持为 25 ℃、光周期为 16 h / 8 h（昼/夜），光照强度为 2000 lx。

1.2.3 种子萌发测定

自播种之日起，每 24 h 按时观察记录种子的发芽情况。试验期间，每天加水 1 次，每次 1 mL，每 3 d 换 1 次滤纸，保持滤纸清洁，发现有霉变的种子及时挑出。

参照《1996 国际种子检验规程》的鉴定标准统计萌发情况，种子的萌发以胚根长度超过种子半径作为萌发标准，连续 5 d 无萌发种子视为萌发结束。发芽时滞指发芽实验开始到有种子开始萌发的时间；萌发高峰期即从实验开始至发芽种子数达到最大时所需的天数；发芽持续时间即从种子开始萌发到最后一粒种子萌发所用的总天数；发芽率=（发芽总数/供试种子总数）× 100 %；发芽势 =（达到发芽高峰时已发芽种子总数/供试种子数）× 100 %；成苗率 =（种子发芽并形成苗的总数/供试种子总数）× 100 %；发芽指数 $Gi=\sum(Gt / D_t)$，其中，G_t 为 t 日内的发芽数，D_t 为相应的发芽天数。

1.2.4 数据统计

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 21.0 进行数据统计分析，Sigma plot 10.0 软件绘图。

2. 结果与分析

2.1 种子的千粒重测定及其差异

小白杜鹃、大白杜鹃、桃叶杜鹃、长蕊杜鹃和九龙山五种晚花杜鹃的千粒重分别为（0.319 ± 0.014）、（0.314 ± 0.047）、（0.385 ± 0.012）、（0.143 ± 0.011）和（0.258 ± 0.011）g，其中长蕊杜鹃平均千粒重值最小，桃叶杜鹃平均千粒重值最大，约为长蕊杜鹃的 2.7 倍。从表 1 发现，五种杜鹃在 CK 组（未经 GA_3 处理）种子自然萌发结果中长蕊杜鹃种子萌发率最高，桃叶杜鹃种子萌发率最低，这可能是因为千粒重较重的杜鹃，其种皮也相对较厚，杜鹃突破种皮萌发的难度越大，所以导致种子萌发率低。杜鹃种子的萌发率和千粒重之间是否存在相关性有待进一步的研究。

2.2 不同浓度赤霉素处理对五种晚花杜鹃种子萌发的影响

通过不同浓度的赤霉素 GA_3 对五种杜鹃进行处理，对其萌发情况进行分析，结果见表 1。表 1 表明了对五种晚花杜鹃采用不同浓度的 GA_3 处理后，在发芽时滞、发芽高峰期、发芽持续时间、发芽指数、发芽势、发芽率、成苗率的相互差异及其变化特征。

表 1　不同浓度 GA_3 浸种对五种晚花杜鹃种子萌发的影响

Table 1　Effects of different GA_3 on germinations of five late flower *Rhododendron*

GA_3 浓度 mg・L^{-1} Concentration of GA_3	发芽时滞（d） Germination time lag	发芽高峰期（d） Germination peak period	发芽持续时间（d） Germination lasting time	发芽指数 Germination index	发芽势(%) Germination potential	发芽率(%) Germination rate	成苗率(%) Seedling rate
小白杜鹃 *Rhododendron maculatum*							
CK	6	9	12	9.11 ± 0.24 a	31.00 ± 0.00 a	82.00 ± 3.61 a	81.33 ± 3.06 a
300	5	8	12	10.24 ± 0.46 b	43.67 ± 3.51 b	85.00 ± 3.61 a	83.33 ± 2.52 a
400	5	7	8	13.42 ± 0.05 c	57.00 ± 1.00 c	93.67 ± 0.58 b	93.33 ± 0.58 b
500	5	7	10	12.51 ± 0.53 d	45.33 ± 2.08 b	94.00 ± 4.00 b	93.67 ± 3.06 b
600	5	7	11	12.19 ± 0.25 d	40.33 ± 3.06 b	96.33 ± 4.04 b	95.00 ± 4.04 b
700	5	7	8	13.41 ± 0.31 c	66.67 ± 2.52 d	98.33 ± 2.08 b	96.67 ± 2.00 b
大白杜鹃 *R. decorum*							
CK	7	14	27	6.20 ± 0.18 a	14.33 ± 0.58 a	78.66 ± 1.15 a	77.67 ± 1.53 a
300	7	9	20	8.35 ± 0.33 b	26.67 ± 1.15b	81.33 ± 3.21 ab	84.67 ± 2.08 b
400	7	9	21	8.36 ± 0.30 bc	25.67 ± 0.58b	82.33 ± 2.89 ab	81.00 ± 1.73 ab
500	6	9	21	8.57 ± 0.46 bc	27.33 ± 3.22b	83.00 ± 2.00 ab	78.67 ± 0.58 a
600	7	9	21	9.01 ± 0.18 c	32.00 ± 2.64c	86.00 ± 2.65 b	82.33 ± 3.51 ab
700	7	9	16	8.05 ± 0.22 b	28.00 ± 2.65b	77.33 ± 2.52 a	73.33 ± 3.51 c
桃叶杜鹃 *R. annae*							
CK	7	13	13	4.06 ± 0.24 a	21.00 ± 4.00 a	51.67 ± 1.15 a	49.33 ± 1.53 ab
300	7	8	10	6.55 ± 0.76 bc	45.33 ± 5.77 c	57.00 ± 7.00 ab	53.67 ± 7.57 bc
400	7	11	13	5.89 ± 0.26 b	45.66 ± 2.51 c	63.67 ± 2.52 b	62.00 ± 3.67 c
500	6	9	13	6.99 ± 0.38 c	49.33 ± 1.52 c	61.67 ± 5.03 b	59.33 ± 2.52 c
600	6	8	10	7.02 ± 0.15 c	50.33 ± 1.15 c	59.67 ± 1.53 ab	55.67 ± 2.08 bc
700	7	8	8	5.77 ± 0.42 b	37.00 ± 3.00 b	50.67 ± 4.04 a	44.67 ± 2.08 a
长蕊杜鹃 *R. stamineum*							
CK	4	8	15	10.51 ± 0.55 a	55.33 ± 4.04 a	84.67 ± 3.51 a	83.33 ± 4.04 a
300	2	7	11	14.72 ± 0.49 b	73.67 ± 1.53 bc	87.33 ± 2.08 ab	86.67 ± 2.52 a
400	2	7	10	14.55 ± 0.24 b	78.67 ± 0.58 c	88.33 ± 1.53 ab	87.33 ± 1.52 a
500	2	7	12	14.39 ± 0.89 b	71.00 ± 3.00 b	89.00 ± 2.65 ab	88.67 ± 3.05 a
600	2	7	8	14.60 ± 0.05 b	73.33 ± 2.52 bc	90.33 ± 0.58 ab	90.00 ± 1.00 a
700	2	6	8	14.82 ± 0.57 b	79.67 ± 4.16 c	91.00 ± 1.73 b	89.00 ± 1.00 a
九龙山杜鹃 *R. jiulongshanense*							
CK	5	9	13	9.25 ± 0.05 a	58.00 ± 1.00 a	84.67 ± 0.58 a	83.67 ± 0.58 a
300	4	8	12	11.20 ± 0.45 b	69.33 ± 3.7 9 b	86.33 ± 0.58 ab	86.33 ± 0.58 ab
400	4	8	10	12.08 ± 0.19 c	78.00 ± 3.00 c	92.33 ± 1.15 b	87.33 ± 1.15 ab
500	4	7	9	12.08 ± 0.35 c	77.67 ± 3.06 c	87.66 ± 0.58 ab	88.33 ± 3.21 ab
600	4	8	10	12.78 ± 0.31 c	79.00 ± 4.58 c	92.66 ± 0.58 b	92.00 ± 1.00 b

700	4	7	10	12.27 ± 0.69 c	74.33 ± 2.31 bc	89.00 ± 5.57 ab	92.33 ± 6.50 b

注：同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different small letters in the same column indicate the significant differences at 0.05 levels.

2.2.1 不同浓度 GA_3 处理对小白杜鹃种子萌发的影响

由表 1 可见，与对照组（蒸馏水处理）相比，用浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} GA_3 浸种 24 h，能明显的促进小白杜鹃的萌发；种子的萌发时滞、萌发高峰期和萌发持续时间均有所缩短；GA_3 浓度在 300 ～ 700 mg·L^{-1} 范围内，发芽指数、发芽势均显著高于对照（$P < 0.05$）；在 GA_3 浓度 400 ～ 700 mg·L^{-1} 范围内的发芽率和成苗率均显著高于对照。在浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} 的范围内，随着 GA_3 浓度的增大，小白杜鹃的发芽指数和发芽势均呈现先升后降再升的趋势，同时发芽率和成苗率均随浓度的增大而升高。用浓度 400 mg·L^{-1} 和 700 mg·L^{-1} 的 GA_3 分别对小白杜鹃进行 24 h 浸泡处理，小白杜鹃种子的发芽指数分别为 13.42 ± 0.05 和 13.41 ± 0.31，均极显著高于对照及其它处理组（$P < 0.01$），萌发滞时、萌发高峰期均较对照缩短了 1 d，发芽持续时间较对照缩短了 4 d。用 700 mg·L^{-1} 的 GA_3 处理时，小白杜鹃种子的发芽势（66.67 %）极显著高于对照（31.00 %）及其它处理组，另外发芽率和成苗率也均达最大值且显著高于对照，分别为 98.33 % 和 96.67 %；用浓度 400 mg·L^{-1} 的 GA_3 对小白杜鹃进行处理，小白杜鹃种子的发芽指数（13.42）和发芽势（57.00 %）均较高。

2.2.2 不同浓度 GA_3 处理对大白杜鹃种子萌发的影响

由表 1 可见，与对照组相比，用浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} GA_3 浸种大白杜鹃种子 24 h，种子的萌发时滞、萌发高峰期和萌发持续时间均有所缩短；在 300 ～ 600 mg·L^{-1} 的 GA_3 浓度范围内，大白杜鹃种子发芽指数、发芽势和成苗率均显著高于对照；当浓度 700 mg·L^{-1} 时，大白杜鹃种子的发芽指数、发芽势均显著高于对照组，但发芽率和成苗率均低于对照；用浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} GA_3 对大白杜鹃种子进行浸种处理，随着 GA_3 浓度的增大，大白杜鹃的发芽指数、发芽势和发芽率均呈现先升后降的趋势。用 600 mg· L^{-1} 的 GA_3 对大白杜鹃进行 24 h 浸泡处理，大白杜鹃种子的发芽指数（9.01）、发芽势（32.00 %）、发芽率（86.00 %）和成苗率（82.33 %）均达最大值且显著高于对照组，萌发滞时较对照缩短了 1 d、萌发高峰期较对照缩短了 5 d，发芽持续时间较对照缩短了 11 d。

2.2.3 不同赤霉素浓度处理对桃叶杜鹃种子萌发的影响

由表 1 可知，与对照组相比，用 300 ～ 700 mg·L^{-1} 浓度的 GA_3 对桃叶杜鹃进行浸种处理 24 h，桃叶杜鹃种子的发芽指数和发芽势均显著高于对照；在 GA_3 浓度为 300 ～ 600 mg· L^{-1} 的范围内，发芽率和成苗率均显著高于对照；当 GA_3 浓度为 700 mg·L^{-1} 时，桃叶杜鹃种子的发芽指数和发芽势显著高于对照组，但发芽率和成苗率均低于对照；用浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} GA_3 对桃叶杜鹃种子进行浸种处理，随着 GA_3 浓度的增大，桃叶杜鹃的发芽指数、发芽势和发芽率均呈现先升后降的趋势。用浓度为 600 mg·L^{-1} 的 GA_3 对桃叶杜鹃进行 24 h 浸泡处理，其种子的发芽指数（7.02）和发芽势（50.33 %）最高且极显著高于对照及其它处理组，发芽率和（62.67 %）成苗率（61.67 %）较高，显著高于对照组；萌发滞时较对照缩短了 1 d、萌发高峰期较对照缩短了 5 d，发芽持续时间较对照缩短了 3 d。浓度为 400 mg·L^{-1} 时，发芽率和成苗率分别为 63.67 % 和 62.00 %，为最大值且显著高于对照组，萌发滞时较对照缩短了 1 d、萌发高峰期较对照缩短了 3 天，但萌发指数和发芽势相对小于 GA_3 浓度为 300、500 和 600 mg· L^{-1} 。

2.2.4 不同浓度 GA_3 处理对长蕊杜鹃种子萌发的影响

由表 1 可知，与对照组相比，用 300 ～ 700 mg·L^{-1} 浓度的 GA_3 对长蕊杜鹃进行浸种处理 24 h，能明显的促进长蕊杜鹃的种子萌发，种子的萌发时滞、萌发高峰期和萌发持续时间与对照相比均有所缩短，发芽指数、发芽势和发芽率均显著高于对照。在浓度 300 ～ 700 mg·L^{-1} 范围内，随着 GA_3 浓度的增加，长蕊杜鹃的发芽指数、发芽势均呈现先升后降

再升高的趋势，发芽率随着 GA_3 浓度的增加而增大。在 GA_3 浓度为 700 mg • L^{-1} 时，长蕊杜鹃种子的发芽指数（14.82）、发芽势（79.67 %）和发芽率（91.00 %）均为最高，且显著高于对照组，萌发滞时较对照缩短了 2 d、萌发高峰期较对照缩短了 2 d，发芽持续时间较对照缩短了 7 d；600 mg • L^{-1} 时，成苗率为 90.00 % 达到最大值，但发芽指数、发芽势和发芽率较浓度为 700 mg • L^{-1} 时略低。

2.2.5 不同浓度 GA_3 处理对九龙山杜鹃种子萌发的影响

由表 1 可知，与对照组相比，用 300 ～ 700 mg • L^{-1} 浓度的 GA_3 对九龙山杜鹃进行浸种处理 24 h，能明显的促进九龙山杜鹃的种子萌发，种子的萌发时滞、萌发高峰期和萌发持续时间均有所缩短，发芽指数和发芽势均显著高于对照。在浓度 300 ～ 700 mg • L^{-1} 范围内，随着 GA_3 浓度的增加，九龙山杜鹃的发芽指数逐渐增大，发芽势呈现先升高后降低的趋势，成苗率随着 GA_3 浓度的增加而增大。用浓度 600 mg • L^{-1} 的 GA_3 对九龙山杜鹃进行 24 h 浸泡处理，种子的发芽指数（12.78）、发芽势（79.00 %）和发芽率（92.66 %）均达最大值，成苗率（92.00 %）较高，且均显著高于对照组，萌发滞时较对照缩短了 1 d、萌发高峰期较对照缩短了 2 d，发芽持续时间较对照缩短了 3 d。

2.3 五种晚花杜鹃种子萌发比较

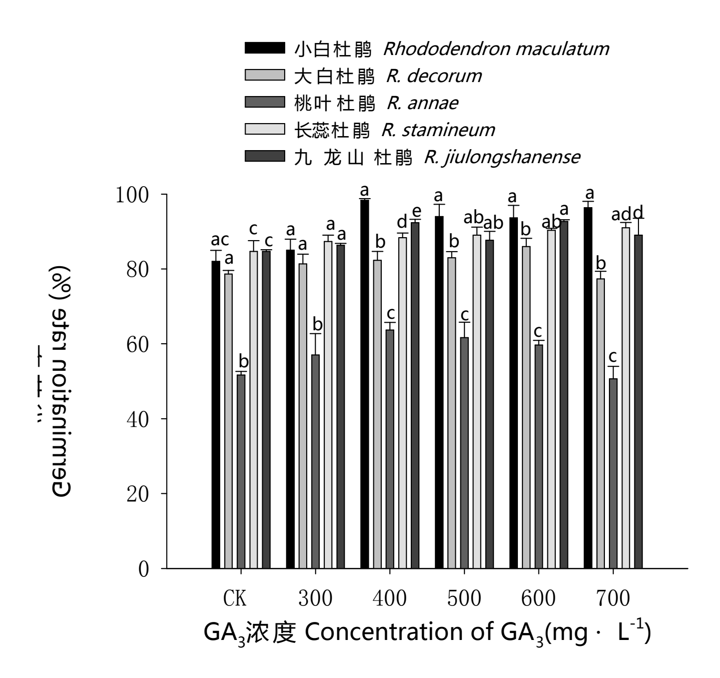
在不同 GA_3 浓度（0 mg •L-1 、300 mg •L-1 、400 mg •L-1 、500 mg •L-1 、600 mg •L-1 、700 mg • L-1 ）处理下比较五种晚花杜鹃的发芽时间、发芽指数和发芽势（见表 2），由表可见，长蕊杜鹃、九龙山杜鹃和小白杜鹃的发芽时滞、发芽高峰期和发芽持续时间都相对较短，发芽指数和发芽势都较大。其中，小白杜鹃发芽持续时间最短，最短为 8 d，最长为 12 d；发芽指数最大为 13.42，发芽势最大时达 66.67 %。大白杜鹃发芽持续时间最长，最短发芽时间为 16 d，最长为 27 d，发芽指数最小为 6.20，最大为 9.01 均小于小白杜鹃、长蕊杜鹃和九龙山杜鹃。长蕊杜鹃和九龙山杜鹃的发芽势高达 79 % 左右，发芽指数也相对高于小白杜鹃和桃叶杜鹃。

在相同 GA_3 浓度下，对五种晚花杜鹃的发芽率（图 1 ）和成苗率（图 2）进行比较。如图可知，未经过 GA_3 处理时，五种杜鹃中长蕊杜鹃和九龙山杜鹃的发芽率和成苗率最高，均极显著高于其他三种杜鹃，其次是小白杜鹃，发芽率和成苗率均在 80.00 % 以上；大白杜鹃和桃叶杜鹃的发芽率和成苗率均较低。经过一定浓度的 GA_3 处理后，五种晚花杜鹃的发芽率和成苗率均出现一定程度的提高，其中小白杜鹃提高程度最大，发芽率提高了 16.33 %，成苗率提高 15.34 %，最高的发芽率和成苗率分别为 98.33 % 和 96.67 %。此外九龙山杜鹃和长蕊杜鹃的最大发芽率、成苗率均达 90 % 以上，大白杜鹃的最大发芽率、成苗率分别为 86.00 % 和 82.33 %，桃叶杜鹃最大发芽率、成苗率分别为 63.67 % 和 62.00 %，相对低于其他四种杜鹃。

表 2 五种晚花杜鹃种子萌发时间比较

Table 2 Comparison of seed germination time of five late flower *Rhododendron*

种名 Species	发芽时滞（d）germination time lag	发芽高峰期（d）Germination peak period	发芽持续时间（d）Germination lasting time	发芽指数 Germination index	发芽势(%) Germination potential
小白杜鹃 *Rhododendron maculatum*	5 ～ 6	7 ～ 9	8 ～ 12	9.11 ～ 13.42	31.00 ～ 66.67
大白杜鹃 *R. decorum*	6 ～ 7	9 ～ 14	16 ～ 27	6.20 ～ 9.01	14.33 ～ 32.00
桃叶杜鹃 *R. annae*	6 ～ 7	8 ～ 13	13 ～ 16	4.06 ～ 7.02	21.00 ～ 50.33
长蕊杜鹃 *R. stamineum*	2 ～ 4	6 ～ 8	8 ～ 15	10.51 ～ 14.82	55.33 ～ 79.67
九龙山杜鹃 *R. jiulongshanense*	4 ～ 5	7 ～ 9	9 ～ 13	9.25 ～ 12.78	58.00 ～ 79.00



注：图中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different small letters in the column indicate the significant differences at 0.05 levels. The same below.

图 1 不同浓度 GA_3 处理下五种晚花杜鹃种子发芽率比较

Fig 1 Comparison of germination rate of five late flower *Rhododendron* with different concentrations of GA_3

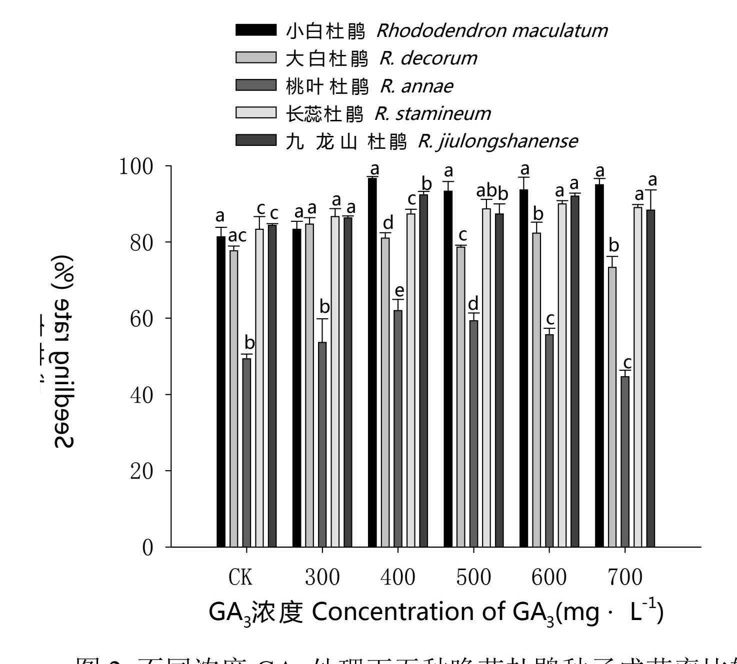


图 2 不同浓度 GA_3 处理下五种晚花杜鹃种子成苗率比较

Fig 2 Comparison of seedling rate of five late flower *Rhododendron* with different concentrations of GA_3

3. 讨论

3.1 赤霉素 GA_3 对植物种子的影响

赤霉素 GA_3 能够促进种子的萌发，其原理是 GA_3 可通过诱导种子内部淀粉酶等水解酶的合成，催化种子内贮藏物质的分解、为胚生长发育提供充足营养，进而促进种子的萌发(苏家乐等, 2011)。关于 GA_3 促进植物种子萌发的报道很多，在任毛飞(2019)等对黄瓜种子处理的研究中发现，浓度为 150 mg・kg^{-1} 的 GA_3 能够促进黄瓜种子的萌发；刘拴成(2016)）等对番茄种子萌发的实验结果表明，100 mg・L^{-1} 的赤霉素对番茄的发芽率有明显的促进作用，没有经过赤霉素处理的种子，发芽率明显较低；另外，GA_3 在其他植物如：玉米(刘丽杰, 2014)、月见草(南桂仙等, 2009)、薄荷(房海灵等, 2009)、杜鹃(马红媛等, 2008; 张文香和朱艳, 2011; 刘仁阳等, 2013)等多种植物的种子萌发中都具有不同程度的促进作用，这对提高植物的产量具有重要的价值和实际意义。

3.2 赤霉素 GA_3 对杜鹃种子的影响

本研究以百里杜鹃五种晚花杜鹃种子为材料，通过不同浓度的赤霉素 GA_3 处理杜鹃种子以探究赤霉素对五种杜鹃种子萌发的影响，筛选五种杜鹃最适宜的赤霉素浓度，为稀有的晚花类高山杜鹃种子萌发处理及生产育苗提供科技参考。相关研究发现，赤霉素浓度为 0 ～ 300 mg・L^{-1} 时，大白杜鹃(黄承玲, 2010)、九龙山杜鹃和桃叶杜鹃(高贵龙, 2010)等杜鹃的萌发效率随着浓度的增大而增高。本实验表明，未经过 GA_3 处理的五种晚花杜鹃的萌发率相对较低，用浓度 300 ～ 700 mg・ L^{-1} 的 GA_3 对五种晚花杜鹃种子进行 24 h 浸泡处理后，在一定浓度下，五种杜鹃的发芽指数、发芽率和发芽势均有不同程度的提高。其中，用浓度 600 mg・L^{-1} 的 GA_3 对大白、桃叶、九龙山杜鹃进行处理，用 700 mg・L^{-1} 的 GA_3 对小白杜鹃和长蕊杜鹃进行处理时，种子的萌发的各项指标相对较好，发芽时滞、萌发高峰期和发芽持续时间明显缩短，发芽指数、发芽势、发芽率和成苗率均有不同程度的提高，种子的萌发较整齐。因此采用适宜浓度的 GA_3 对五种晚花杜鹃种子进行处理可有效提高种子的萌发效果，这与同属植物露珠杜鹃(樊丛令等, 2011)、金背杜鹃(申惠翡, 2011)和三花杜鹃(刘林等, 2016)等杜鹃中的结果相似。

同时对五种晚花杜鹃种子进行处理的对比结果发现，小白杜鹃、长蕊杜鹃和九龙山杜鹃的发芽周期相对较短，发芽指数、发芽势、发芽率和成苗率均较其他两种杜鹃高，因此，在进行晚花杜鹃产业化育苗的过程中，小白杜鹃、九龙山杜鹃和长蕊杜鹃相对发芽耗时较短，发芽率较高，成苗较为齐全，可以作为优化种进行开发利用。

参考文献

CHEN XM, OU J, CHEN X, et al., 2014. Study on seed characteristics and germination of *Rhododendron leishanicum*[J]. Jiangsu Agric Sci, 42(8): 184-186. [陈雪梅，欧静，陈训，等，2014. 雷山杜鹃种子特性及萌发试验研究[J]. 江苏农业科学, 42(8)：184-186.]

FAN CL, CHEN X, XING JN, 2011. Effects of different treatments on seeds germination of *Rhododendron irroratum*[J]. Seed, 30(4): 106-108. [樊丛令，陈训，邢晋宁，2011. 不同处理对露珠杜鹃种子萌发的影响[J]. 种子，30(4)：106-108.]

FANG HL, LI WL, LIANG CY, 2009. Effect of different pro-treatment conditions on seed germination of *Mentha canadensis*[J]. J Plant Resour Environ, 18(4): 53-57. [房海灵，李维林，梁呈元，2009. 不同前处理条件对薄荷种子萌发的影响[J]. 植物资源与环境学报，18(4)：53-57.]

FU XX, ZHOU XD, LIU HN, 2011. Review of seed dormancy and germination of woody plant in molecular biology[J]. World For Res, 24(4): 24-29. [洑香香，周晓东，刘红娜，等，2011. 木本植物种子休眠和萌发的分子生物学研究综述[J]. 世界林业研究，24(4)：24-29.]

GAO GL, LONG XQ, HU XJ, et al., 2010. Effect of GA on two species *Alpine Rhododendron*

seeds germination[J]. Seed, 29(5): 22-25. [高贵龙，龙秀琴，胡小京，等，2010. 赤霉素对两种高山杜鹃种子发芽的影响[J]. 种子，29(5):22-25.]
HE FL, 2006. Study on the key techniques of tissue culture in *Alpine Rhododendron* [D]. Gansu: Gansu Agricultural University: 1-50. [何芳兰，2006. 高山杜鹃组织培养关键技术研究[D]. 甘肃:甘肃农业大学:1-50.]
HE JR, YUAN N, WU J, et al., 2008. Research status of tissue culture of *Alpine Rhododendron*[J]. J Sichuan For Sci Technol, 29(4): 52-55. [何俊蓉，袁宁，吴洁，等，2008. 高山杜鹃组织培养研究现状[J]. 四川林业科技，29(4)：52-55.]
LIN L, ZHANG LY, NIU XY, et al., 2015. Effect of GA_3 on seeds germination of two species *Rhododendron*[J]. Seed, 34(7): 5-7. [刘林，张良英，牛歆雨，等，2015. GA_3对 2 种杜鹃种子萌发特性的影响[J]. 种子，34(7):5-7.]
LIU LJ, ZHANG DX, JIN ZM, et al., 2014. Effect of combined treatment of potassium chloride and GA on germination of maize seeds germination[J]. Seed, 33(10): 85-88. [刘丽杰，张东向，金忠民，等，2014. 氯化钾与赤霉素组合处理对玉米种子萌发的影响[J]. 种子，33(10)：85-88.]
LIU RY, OU J, CHEN X, et al., 2013. Effects of GA immersion on germination of seeds of *Rhododendron leishanicum*[J]. Guizhou Sci, 31(2): 69-71. [刘仁阳，欧静，陈训，等，2013. 赤霉素浸种对雷山杜鹃种子萌发的影响[J]. 贵州科学，31(2)：69-71.]
LIU SC, CAO XM, MU JX, et al. 2016. Effects of exogenous hormones on seed germination and seedling growth of tomato under salt stress[J]. Seed, 35(12): 94-98. [刘拴成，曹兴明，穆俊祥，等，2016. 外源激素对盐胁迫下番茄种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子，35(12)：94-98.]
MA HY, LIANG ZW, HUANG LH, et al., 2008. Effects of four kinds of exogenous hormones on the germination and seedling growth of *Leymus chinensis*[J]. Agric Res Arid Areas, 3(2): 69-73. [马红媛，梁正伟，黄立华，等，2008. 4 种外源激素处理对羊草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 干旱地区农业研究，3(2)：69-73.]
NAN GX, JIN GD, AN JH, et al., 2009. Effects of plant hormones on the seed vigor of *Oenothera biennis*[J]. Jiangsu Agric Sci, 7(6): 250-251. [南桂仙，金光德，安金花，等，2009. 植物激素对月见草种子活力的影响[J]. 江苏农业科学，7(6)：250-251.]
REN MF, ZHANG Y, LI M, et al., 2019. Effect of IAA and GA_3 on cucumber seed Germination[J]. Heilongjiang Agric. Sci, 4(4): 42-45. [任毛飞，张燕，李蒙，等，2019. IAA 和 GA_3 对黄瓜种子萌发的影响[J]. 黑龙江农业科学，4(4)：42-45.]
SHEN HF, ZHAO B, HUANG WM, 2016. Effects of temperature and GA_3 on seed germination and seedling growth of *Rhododendron clementinae*[J]. Jiangsu Agric Sci, 44(06): 281-283. [申惠翡，赵冰，黄文梅，2016. 温度和赤霉素对金背杜鹃种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学，44(06)：281-283.]
SU JL, LI C, CHEN L, et al., 2011. Effects of different pro-treatment methods on seed germination of *Rhododendron aureum* and *Rhododendron lapponicum*[J]. J Plant Resour Environ, 20(4): 64-69. [苏家乐，李畅，陈璐，等，2011. 不同预处理方法对牛皮杜鹃和小叶杜鹃种子萌发的影响[J]. 植物资源与环境学报，20(4)：64-69.]
ZHANG WX, ZHU Y, 2017. Effects of sulfuric acid and GA_3 soaking on seed germination of *Rhododendron delavayi*[J]. S Chin Agric, 11(19): 58-60, 70. [张文香，朱艳，2017. 硫酸、赤霉素浸泡处理对马缨杜鹃种子萌发的影响[J]. 南方农业，11(19)：58-60，70.]
ZHAO J, QIU S, LI XJ, et al., 2009. Effects of different plant hormones on flower induction of *Rhododendron pulchrum*[J]. Guihaia, 29(1): 92-95. [赵健，仇硕，李秀娟，等，2009. 不同激素对锦绣杜鹃的催花作用[J]. 广西植物，29(1)：92-95.]

ZHENG FC, GENG XM, HU YH, et al., 2016.Effects of temperature and soaking treatment on germination characteristics of *Rhodedendron* seeds[J]. J Fujian For Sci Technol, 43(4): 125-129. [郑福超，耿兴敏，胡义红，等，2016. 温度及浸种对杜鹃种子萌发特性的影响[J]. 福建林业科技，43(4)：125-129.]